

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-329918

(43)Date of publication of application : 30.11.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

(21)Application number : 10-140404

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 08.05.1998

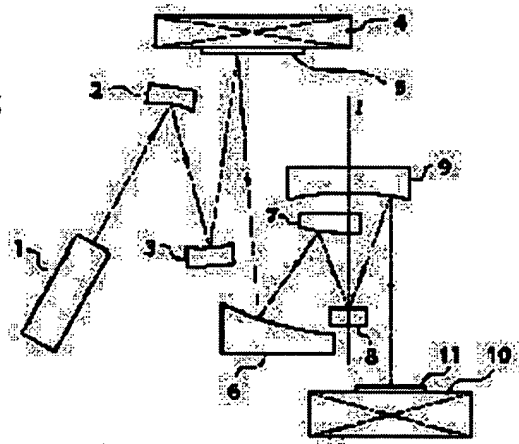
(72)Inventor : MURAKAMI KATSUHIKO

(54) SOFT X-RAY PROJECTION ALIGNER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a soft X-ray projection aligner by which high resolution and high throughput can be attained compatibly.

SOLUTION: A bundle of rays radiated from an X-ray source 1 is condensed by a lighting optical system having two X-ray multilayer film mirrors 2, 3 and illuminates a reflection mask 5 mounted on a mask stage 4. The bundle of rays reflected on the reflection mask 5 passes through a projection optical system, constituted of four X-ray multilayer film mirrors 6 to 9 and reaches onto a wafer 11 mounted on a wafer stage 10. The projection optical system reduces the image of a circuit pattern formed on the reflection mask 5 to one-fourth and transfers on the wafer 11. A mirror comprising a mirror 18 having very large thermal deformation, a metal substrate, a thin film of amorphous materials which is formed on the substrate and its surface is polished optically smoothly, a multilayer film which is formed on the thin film and which reflects X-rays having a predetermined wavelength is used.



BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-329918

(43) 公開日 平成11年(1999)11月30日

(51) Int. Cl.⁷
H 01 L 21/027

識別記号

P 1
H 01 L 21/30

5 3 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-140404

(22) 出願日 平成10年(1998) 5 月 8 日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

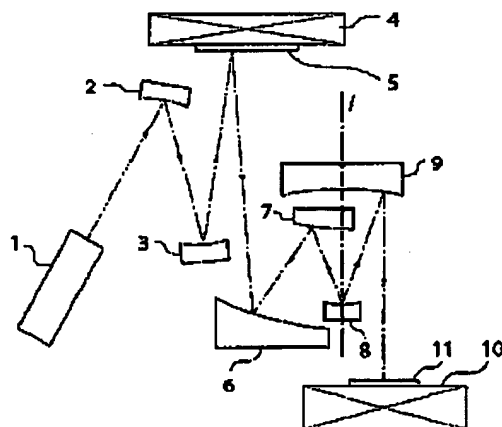
(74) 代理人 弁理士 細江 利昭

(54) 【発明の名称】 軟X線投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 高解像力と高スループットとを両立させることのできる軟X線投影露光装置を提供する。

【解決手段】 X線源1から放射された光束は、2枚のX線多層膜ミラー2、3からなる照明光学系で集光され、マスクステージ4上に保持された反射マスク5を照明する。反射マスク5で反射した光束は、4枚のX線多層膜ミラー6～9で構成される投影光学系を通り、ウェハステージ10上に保持されたウェハ11上に到達する。投影光学系は、反射マスク5上に形成されている回路パターンを、1/4に縮小した像をウェハ11上に転写する。特に熱変形の大きいミラー18に、金属製基板と、前記基板の表面に形成され、表面が光学的に平滑に研磨された非晶質物質の薄膜と、前記薄膜の表面に形成され、所定波長のX線を反射する多層膜とを有してなるミラーを使用する。



(2)

特開平11-329918

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光学系又は投影光学系を構成するミラーの一部又は全てに金属製ミラーが用いられ、前記金属製ミラーは、金属製基板と、前記金属製基板の表面に形成され、表面が光学的に平滑に研磨された非晶質物質の薄膜と、前記薄膜の表面に形成され、所定波長のX線を反射する多層膜とを有してなることを特徴とする軟X線投影露光装置。

【請求項2】 前記金属製ミラーを構成する金属製基板の熱伝導率を κ [W/m·K]、線膨張係数を α [1/K]、光線又はX線からミラーへの熱流束を Q [W/m²]、ミラーの平均厚さを d [m]とすると、

$$\alpha \cdot Q \cdot d^3 / (2 \kappa) \leq 1.0^{-3} \text{ [m]}$$

が成立することを特徴とする請求項1に記載の軟X線投影露光装置。

【請求項3】 前記金属製ミラーを構成する金属製基板がインバー型合金であることを特徴とする請求項1に記載の軟X線投影露光装置。

【請求項4】 前記金属製ミラーを構成する金属製基板が、アルミニウム、銅、ベリリウム、銀、金又はこれらのうち少なくとも一つの材料を含む合金であることを特徴とする請求項1に記載の軟X線投影露光装置。

【請求項5】 前記金属製ミラーを構成する非晶質物質の表面粗さが0.5nm(r.m.s)以下とされていることを特徴とする請求項1から請求項4のうちいずれか1項に記載の軟X線投影露光装置。

【請求項6】 前記金属製ミラーを構成する前記非晶質物質又は前記非晶質物質の主成分をニッケル又はニッケル合金としたことを特徴とする請求項1から請求項5のうちいずれか1項に記載の軟X線投影露光装置。

【請求項7】 前記金属製ミラーを構成する非晶質物質が、酸化珪素、炭化珪素、PSG (Phospho Silicate Glass)、窒化珪素、シリコン、炭素又はこれらを主成分とした物質からなる群のうち、いずれか1つからなることを特徴とする請求項1から請求項5のうちいずれか1項に記載の軟X線投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体デバイスなどの製造に用いられる、軟X線投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代わってこれより波長の短いX線を使用した投影リソグラフィ技術が開発されている。この技術に使用されるX線投影露光装置は、主としてX線源、照明光学系、マスク、結像光学系、ウェファーステージ等により構成される。

【0003】X線源には、放射光光源またはレーザー

2

ラズマX線源が使用される。照明光学系は、斜入射ミラー、多層膜ミラー、および所定の波長のX線のみを反射または透過させるフィルター等により構成され、マスク上を所定の波長のX線で照明する。マスクには透過型マスクと反射型マスクとがある。透過型マスクは、X線を良く透過する物質からなる薄いメンブレンの上にX線を吸収する物質を所定の形状に設けることによってパターンを形成したものである。

【0004】一方、反射型マスクは、例えばX線を反射する多層膜上に反射率の低い部分を所定の形状に設けることによってパターンを形成したものである。このようなマスク上に形成されたパターンは、複数の多層膜ミラーで構成された投影結像光学系により、フォトレジストが塗布されたウェファア上に結像して前記フォトレジストに転写される。なお、X線は大気中に吸収されて減衰するため、その光路は全て所定の真空中に維持されている。

【0005】X線の波長域では、透明な物質は存在せず、また物質表面での反射率も非常に低いため、レンズやミラーなどの通常の光学素子が使用できない。そのため、X線用の光学系は、反射面に斜め方向から入射したX線を全反射を利用して反射させる斜入射ミラーや、多層膜の各界面での反射光の位相を一致させて干渉効果によって高い反射率を得る多層膜ミラー等により構成されている。

【0006】斜入射光学系は収差が大きいため回折限界の解像力を得ることはできない。一方、多層膜ミラーはX線を垂直に反射することが可能であり、回折限界のX線光学系を構成することが可能である。従って、軟X線投影露光装置の結像光学系は、すべて多層膜ミラーで構成される。

【0007】このようなX線多層膜ミラーは、シリコンのL吸収端(12.3nm)の長波長側でモリブデンとシリコンからなる多層膜を用いたときに、シリコンによる吸収が少なくなるので最も高い反射率が得られるが、それでも波長13~15nmでは入射角によらず70%程度である。シリコンのL吸収端よりも短波長側では、垂直入射で30%以上の反射率が得られる多層膜は殆ど開発されていない。多層膜ミラーの基板材料には、形状精度が高く表面粗さの小さい加工が可能な、石英等のガラス材料が用いられている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記のようなX線投影露光装置において、実用的なスループット(例えば、8インチウェファアで30枚/1時間程度)を得るためには、結像光学系を構成する多層膜ミラーの表面には、ある程度の強度のX線(例えば、10[mW/cm²]程度)を照射する必要がある。一方、前述したように、多層膜ミラーの反射率は最も高くても70%程度であり、残りは多層膜で反射されずに吸収、透過、散乱される。散乱による

(3)

特開平11-329918

3

損失はわずかであり、多層膜を透過したX線はミラー基板によりほぼ完全に吸収される。

【0009】即ち、多層膜ミラーで反射されなかったX線の大部分は多層膜ミラーに吸収されて、そのエネルギーは熱に変換される。この熱によって多層膜ミラーの温度が上昇して熱変形を生じることになる。

【0010】一般に、光学系で回折限界の解像力を得るためには、使用する光の波長と比較して光学系を構成するミラーやレンズの形状誤差を充分小さくする必要がある。そして、X線を用いた光学系では、可視光や紫外線を用いた光学系よりも、波長が短い分だけ形状誤差の許容範囲は狭くなる。そうしてみると、前述したX線照射による多層膜ミラーの熱変形は、多層膜ミラーの結像特性に大きな影響を与えることになり、設計通りの解像力が得られなくなる恐れがある。

【0011】そこで、このような熱変形による結像特性への影響を防ぐために、基板の裏面からミラーを冷却することが行われているが、充分な効果を得ることはできないという問題がある。(なお、X線光学系は真空中で使用されるので、ミラーの表面からの放熱はほとんど無い。)

【0012】従って、熱変形による結像特性への影響を防ぐためには、ミラーへ入射するX線の強度を抑制する他はなく、そうすると当該ミラーを用いた軟X線投影露光装置のスループットが低下するという問題があった。即ち、従来のミラーでは、軟X線投影露光装置の高解像力と高スループットとを両立させることができないという問題があった。

【0013】本発明は、かかる問題点に鑑みてなされたものであり、高解像力と高スループットとを両立させることができる軟X線投影露光装置を提供することを課題とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための第1の手段は、照明光学系又は投影光学系を構成するミラーの一部又は全てに、金属製ミラーが用いられ、前記金属製ミラーは、金属製基板と、前記金属製基板の表面に形成され、表面が光学的に平滑に研磨された非晶質物質の薄膜と、前記薄膜の表面に形成され、所定波長のX線を反射する多層膜とを有していることを特徴とする軟X線投影露光装置(請求項1)である。

【0015】ここに、「表面が光学的に平滑に研磨された」とは、少なくとも完全平坦面における反射率の80%以上の反射率を有するような平滑さに研磨されていることをいう。

【0016】本手段において照明光学系又は投影光学系を構成するミラーの一部又は全てに用いられるミラーは、ミラーに入射するX線によって発生する熱をミラーの裏面に設けられた冷却装置側に効率よく逃すために、基板として金属性基板(合金製基板を含む)を使用して

4

いる。よって、熱変形によって生じる形状誤差が小さくなる。また、金属性基板は加工が容易であり、よって、製作の際の形状誤差を小さくすることができる。

【0017】しかしながら、金属製基板はその表面粗さを小さくすることが困難であり、そのため、その上に直接、所定波長のX線を反射する多層膜を形成すると反射率が低くなってしまい、本発明の目的とする軟X線投影露光装置用のミラーとして使用できない。よって、本手段のミラーにおいては、これらの基板の上に表面が光学的に平滑に研磨された非晶質物質を形成する。非晶質物質は、表面を平滑に研磨することができるので、平滑に研磨した上に所定波長のX線を反射する多層膜を形成し、それを反射面として使用することにより、反射率の高いミラーとすることができ、本発明の目的を達することができる。

【0018】すなわち、このようなミラーは、形状誤差及び表面粗さを小さくし、かつ照射光による熱変形を充分小さく抑えることができる。本手段においてはこのようなミラーが投影光学系を構成するミラーの一部又は全てに使用されているので、強度の強いX線を使用することができ、高解像力と高スループットとを両立させることができる。

【0019】前記課題を解決するための第2の手段は、前記第1の手段であって、前記金属製ミラーを構成する金属製基板の熱伝導率を η [W/m·K]、線膨張係数を α [1/K]、光線又はX線からミラーへの熱流束を Q [W/m²]、ミラーの平均厚さを d [m]とすると、 $\alpha \cdot Q \cdot d / (2\eta) \leq 10^{-3}$ [m] …(1)

が成立することを特徴とするもの(請求項2)である。

【0020】(1)式は、熱変形によるミラーの変形が1nm以下に収まることを意味する式である。(1)式について、図3を用いて説明する。実際のミラーの変形は、ミラーの寸法形状により大きく異なるので、正確にミラー変形を計算するためには有限要素法等による計算が必要であるが、ここでは以下のように単純化して、変形の概略値を計算することとする。

【0021】図3は厚さ d [m]のミラー(簡略化のために平面と仮定)の裏面を一定温度 T [K]に保ち、その表面にX線を照射した場合の熱変形 Δx [m]を示すものであり、基板の表面の一部に定常的な熱流束 Q [W/m²](照射されたX線のうち、反射せずに基板に吸収される分のエネルギー)が投入されたときの、投入部分における基板に垂直な方向(x方向)の伸び(または縮み) Δx を考える。

【0022】ここでは、横方向の熱伝導は考えないこととして単純化する。このとき基板の内部には、図3(b)に示すように、x方向に線形な温度勾配が生じるので、位置 x における温度(熱浴との温度差) $T(x)$ は、熱伝導率を η [W/m·K]として、

$$T(x) = Qx / \eta \quad \dots(2)$$

(4)

特開平11-329918

5

6

となる。

【0023】そして、基板内の薄層（厚さ δx ）の伸び $\Delta(\delta x)$ は、

$$\Delta(\delta x) = \alpha \cdot T(x) \cdot \delta x \quad \dots(3)$$

で与えられる。ここで、 α は基板材料の熱膨張係数（縦*

*膨張率 [1/K]）である。

【0024】従って、基板全体の伸び Δx は、

【0025】

【数1】

$$\Delta x = \int \Delta(\delta x) = \alpha \int_0^L T(x) dx = \frac{\alpha Q}{\eta} \int_0^L x dx = \frac{\alpha Q d^2}{2\eta} \quad \dots(3)$$

となる。

【0026】よって、(1)式を満足すれば、熱変形によるミラーの変形（伸び量）が1nm以下に収まるので、X線を照射した投影露光装置のミラーとして十分な精度のものが得られる。

【0027】前記課題を解決するための第3の手段は、前記第1の手段であって、前記金属製ミラーを構成する金属製基板がインバー型合金であることを特徴とするもの（請求項3）である。

【0028】インバー型合金は特に熱膨張率が低い金属であるので、これをミラーの金属製基板として用いることにより、熱変形の小さいミラーを得ることができる。

【0029】前記課題を解決するための第4の手段は、前記第1の手段であって、前記金属製ミラーを構成する金属製基板が、アルミニウム、銅、ベリリウム、銀、金又はこれらのうち少なくとも一つの材料を含む合金であることを特徴とするもの（請求項4）である。

【0030】これらの金属は、熱伝導率が200 [W/m·K] 以上であり、熱放散の面から好ましい材料である。

【0031】前記課題を解決するための第5の手段は、前記第1の手段から第4の手段のうちのいずれかであって、前記金属製ミラーを構成する非晶質物質の表面粗さが0.5nm (rms) 以下とされていることを特徴とするもの（請求項5）である。

【0032】後に述べるように、非晶質物質の表面粗さが0.5nm (rms) 以下とすることにより、実用的なX線に対して、反射率を完全平坦面における反射率の80%以上の反射率を有するようにすることができる。なお、非晶質物質を表面粗さを0.5nm (rms) 以下としているので、その上に形成される多層膜の凹凸も同程度になり、光学的に平坦な反射体とすることができる。

【0033】前記課題を解決するための第6の手段は、前記第1の手段から第5の手段のいずれかであって、前記金属製ミラーを構成する前記非晶質物質又は前記非晶質物質の主成分をニッケル又はニッケル合金としたことを特徴とするもの（請求項6）である。

【0034】ニッケル合金はメッキにより金属製基板又は合金製基板上に容易に成膜することができ、かつ、加工によりその表面粗さを0.4nm (rms) 程度にすることができるので、前記非晶質物質として採用することが好ましい。

【0035】前記課題を解決するための第7の手段は、

前記第1の手段から第5の手段のいずれかであって、前記金属製ミラーを構成する非晶質物質が、酸化珪素、炭化珪素、PSG (Phospho Silicate Glass)、窒化珪素、シリコン、炭素又はこれらを主成分とした物質からなる群のうち、いずれか一つからなることを特徴とするもの（請求項7）である。

【0036】これらの物質においても、表面粗さを0.4nm (rms) 程度にすることができるので、前記非晶質物質として採用することが好ましい。これらの物質は、通常の真空蒸着、スパッタリング、イオンプレーティング、CVD (Chemical Vapor Deposition) 等の薄膜形成技術により形成することができる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図を用いて説明する。図1は、本発明の実施の形態の例を示す概略図である。図1において、1はX線源、2、3はX線多層膜ミラー（照明系）、4はマスクステージ、5は反射マスク、6～9はX線多層膜ミラー（投影系）、10はウェハステージ、11はウェハである。

【0038】X線源1にはレーザープラズマ光源が使用されている。X線源1から放射された光束は、2枚のX線多層膜ミラー2、3からなる照明光学系で集光され、マスクステージ4上に保持された反射マスク5を照明する。反射マスク5で反射した光束は、4枚のX線多層膜ミラー6～9で構成される投影光学系を通り、ウェハステージ10上に保持されたウェハ11上に到達する。投影光学系は、反射マスク5上に形成されている回路パターンを、1/4に縮小した像をウェハ11上に転写する。

【0039】照明系および投影系を構成するX線多層膜ミラー2、3、6～9及び反射マスク5には、波長13nm付近の軟X線を反射するモリブデン (Mo) / シリコン (Si) 多層膜が使用されている。

【0040】X線多層膜ミラーの反射率は70%程度であり、残りの30%はミラーに吸収されて熱になる。X線の強度は、X線多層膜ミラーを反射する毎に、吸収による損失分だけ低下していく。従って、それぞれのX線多層膜ミラーへ入射するX線の強度は、X線源1に近い上流側のミラーほど大きい。吸収した熱を逃がすために、各ミラーは水冷等の手段により冷却されている。

【0041】投影光学系を構成する4枚のミラー6～9の反射面の形状は、いずれも光軸1の周りに回転対称で

(5)

特開平11-329918

7

8

ある、ミラー8は光軸1上に配置され、ミラー8の有効径が投影光学系の絞りとなっている。ミラー8は、投影系の中でも下流（4枚中3番目）にあるので入射するX線強度はあまり強くはないが、X線の照射される面積が小さいために、単位面積あたりの照射X線強度は、投影系を構成する4枚のミラーの中で一番大きい。

【0042】そこで、投影系の中で最も熱負荷の大きいミラー8に、金属製基板と、前記基板の表面に形成され、表面が光学的に平滑に研磨された非晶質物質の薄膜と、前記薄膜の表面に形成され、所定波長のX線を反射する多層膜とを有するミラーを使用している。

【0043】また、特に、X線源1の直後に配置される照明系のX線多層膜ミラー2、3へ入射するX線強度は大きく、これが熱負荷となりミラーの変形や多層膜の劣化の原因となる。よって、これらのミラーにも、前記本発明の特徴部であるミラーを使用することが好ましい。どのミラーを前記本発明の特徴部であるミラーとするかは、適宜選択して決定することができる。

【0044】以下、本発明の特徴部であるミラーの実施の形態について説明する。図2は、本発明に係るミラーの実施の形態の例を示す図である。図2において、21は金属製基板、22は非晶質薄膜、23は多層膜である。金属製基板1の上に非晶質2の薄膜が形成され、その上に所定波長のX線を反射する多層膜23が形成されている。

【0045】金属製基板21は、合金製のものであってもよく、熱伝導率が高く、熱膨張係数の低いものが望ましいが、一般に金属、合金は熱膨張係数が大きいので、通常の軟X線投影露光装置において、熱変形量を1nm以下に抑えるためには、熱伝導率が200 [W/m・K]以上であることが好ましい。熱伝導率が200 [W/m・K]以上の基板材料としては、熱伝導率が非常に大きいアルミニウム、銅、ベリリウム、銀、金、もしくはこれらの少なくとも一つの材料を含む合金がある。

【0046】光学系の波面収差を波長の四分の一以内とするレイリーの条件を用いると、光学系を構成するミラー一枚あたりの形状精度は、

$$(\lambda/4 \times 1/2) \times 1/n^{1/4} \quad \dots (4)$$

以内に抑えなければならない。ここで、nは光学系を構成するミラーの枚数であり、1/2を掛けているのは反射系であるためである。

【0047】(5)式によれば、例えば4枚のミラーによりで構成された光学系を波長13nmで使用する場合、1枚のミラーに許容される形状誤差（許容形状誤差）は0.81nmとなる。

【0048】紫外光を用いた投影露光装置の屈折光学系に広く用いられている熔融石英（SiO₂）の熱伝導率は1.38 [W/m・K]、熱膨張係数は0.5×10⁻⁶ [1/K]である。ここでは、基板へ投入される熱流束Qは10 [mW/cm²]とする。X線投影露光装置において実用的な露光領域

域の寸法を確保するためには、ミラーの直径は50mm程度は必要である。そして、ミラーの形状を精度良く維持するためには一般に厚さは直径の四分の一程度必要である。基板の厚さdは12.5mm程度とする。

【0049】これらの数値を(1)式に代入して熔融石英の熱変形量を計算すると2.83nmとなる。このように、熔融石英を基板に用いた場合には、熱変形量は、許容誤差である0.81nmからはかけはなれた大きな値になるので、熔融石英を基板に用いたミラーにより構成したX線光学系では回折限界の解像力を得ることはできない。

【0050】よって、基板としては、前記のような金属性基板を用いることが好ましいが、特に熱膨張率の低いインバー（Invar）型合金を用いることが好ましい。

【0051】インバー型合金は磁歪の影響により著しく小さな熱膨張係数を示す材料として知られている。インバー型合金には、Fe-Ni合金、Fe-Ni-Co合金、Fe-Co-Cr合金、Fe-Pt合金、Fe-Pd合金、Zr-Nb-Fe合金、Cr-Fe-Sn合金、Mn-Ce-Fe合金、Fe-B非晶質合金およびFe-Ni-Zr非晶質合金等がある。以下ではインバー型合金をインバーと称する。インバーの熱伝導率は12.9 [W/m・K]、熱膨張係数は0.01×10⁻⁶である。この数値から(1)式によりインバーの熱変形量を計算すると0.097nmとなり、上記の許容形状誤差と比べて充分小さく抑えることが可能である。

【0052】しかしながら、一般に金属には微細な結晶粒界が存在するので、その表面をナノメートルオーダーの平滑な表面に研磨することは困難である。Alan G. Mchette著のOptical Systems for X Rays（1986 Plenum Press, New York）の74頁に、X線用のミラー材料の候補となる物質について、研磨加工により得ることできる表面粗さが記されている。それによると、各材料で得られた最小の表面粗さのrms値（二乗平均値）は、熔融石英とCVD（Chemical Vapor Deposition）法で作製したSiCで最も小さく0.4nmである。これらの材料は、微細構造を持たない非晶質物質なので平滑な表面を得ることができる。

【0053】しかし、金属であるインバーの場合には、2.8nm（rms）程度の表面粗さまでにはしか加工することができない。その他の金属についても、これらと同程度以下の表面粗さまでにはしか加工することができない。

【0054】X線用の多層膜ミラーの基板に必要な表面粗さの大きさは次式により計算することができる。

$$R/R_0 = \exp\{-(4\pi\sigma\sin\theta/\lambda)^2\} \quad \dots (5)$$

ただし、R₀：表面粗さが無いときの反射率

R：表面粗さによる散乱損失があるときの反射率

σ：表面粗さのrms値

λ：X線の波長

θ：斜入射角

ここで、λ=13nm、θ=90°（垂直入射）としたとき

の、表面粗さσに対するR/R₀の値を図3に示す。

(6)

特開平11-329918

9

10

【0055】この図より明らかなように、表面粗さ 0.4nm (rms) のSiCや熔融石英を多層膜ミラーの基板に使用すれば、粗さが無い理想的な場合の9割近い反射率が得られるが、表面粗さ 2.8nm (rms) 程度インバーを基板に使用した場合には、X線はまったく反射しなくなってしまう。

【0056】そこで本発明者は、鋭意検討の結果、熱変形の小さいインバー等の金属の表面に、表面粗さを小さくできる非晶質物質層を形成すれば、熱変形と表面粗さのいずれも充分に小さいミラー基板を製造できることを見出した。

【0057】即ち、図2に示すように、インバー等の金属の上に非晶質物質の薄層（例えば、ニッケル合金の非晶質薄層またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄層）を形成し、この表面に加工（例えば、切削、研削、研磨）を施して光学的に平坦な表面とし、加工を施した非晶質物質の薄層上にさらにX線反射多層膜を形成して多層膜ミラーをとすれば、熱変形と表面粗さのいずれも充分に小さいミラーを製造できる。

【0058】このような金属製ミラーは、熱変形が小さく、なおかつ、放熱性に優れるので、金属製ミラーを用いて構成された投影光学性は、強い軟X線を照射しても光学特性が劣化することが無い。従って、金属ミラーを用いた投影系を有する軟X線投影露光装置は、従来よりも高いスループットを実現することができる。

【0059】そして、図3から明らかなように、前記非晶質物質の薄層の表面粗さ（rms）を 0.5nm 以下とすれば、反射率の低下を20%以下に抑えることができるので好ましい。表面粗さがこれを超えると反射率は急激に低下する。

【0060】前記Micheiteの音物には、無電解メッキにより形成したニッケルの表面粗さは 1.1nm とされているが、最近の加工（例えば、切削、研削、研磨）技術の進歩によりSiCや熔融石英に匹敵する表面粗さの小さい加工が可能になってきた。そこで、本実施の形態では、前記非晶質物質の薄層として、ニッケル合金の非晶質薄層またはニッケル合金を主成分とする非晶質薄層を採用する。これらの非晶質薄層の表面粗さは、前述のように 0.4nm (rms) とすることができるので、図3からわかるように、表面粗さによる多層膜ミラーの反射率の低下は10%以内となり、十分に高い反射率を得ることができる。

【0061】前記非晶質物質の薄層として、酸化珪素（ SiO_2 ）、炭化珪素（SiC）等を用いることができる。前記Micheiteの音物によれば、 SiO_2 、SiC等の表面粗さは 0.4nm (rms) とすることができるので、図3からわかるように、多層膜ミラーの反射率の低下を10%以内に抑えることができ、十分に反射率の高いミラーを得ることができる。

【0062】 SiO_2 、SiC等非晶質薄層は、通常の真空

蒸着、スパッタリング、イオンプレーティング、CVD（Chemical Vapor Deposition）等の薄膜形成技術により形成することができる。インバー等の金属製基板上に薄膜を形成する場合に、成膜時の基板温度が高すぎると、金属製基板表面の酸化や結晶化による表面粗さの増加が生じてしまうために好ましくない。真空蒸着、スパッタリングやイオンプレーティングでは室温での成膜が可能である。また、CVDを用いる場合には、 1000°C 以上の高温で形成する熱CVDではなく、室温から 300°C 程度までの低温で成膜できるプラズマCVDや光CVDを用いることが好ましい。

【0063】また、金属製基板の表面に形成する非晶質薄層の材料は、表面を平滑に研磨することのできる材料であれば特に限定されない。厚さが数 μm と薄いので、熱伝導率、熱膨張係数によっては制約を受けない。例えば、上記のニッケル合金、酸化珪素（ SiO_2 ）、炭化珪素（SiC）以外には、PSG（Phospho Silicate Glass）、窒化珪素（ Si_3N_4 ）、シリコン（Si）、炭素（C）等を用いることができる。

【0064】また、(1)式から明らかなように、変形量 Δx は α （熱膨張係数）/ η （熱伝導率）に比例する。よって、熱変形を小さくするためには、インバーのように熱膨張係数の小さな金属の他に、前述のように熱伝導率の大きな金属を使用するのにも有効な方法である。

【0065】熔融石英では、 α/η は 3.62×10^{-7} [m/W]である。アルミニウムの熱膨張係数は $25 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、熱伝導率は 237 [W/m·K]なので、 α/η は 1.05×10^{-7} [m/W]となる。銅の熱膨張係数は $16.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、熱伝導率は 401 [W/m·K]なので、 α/η は 4.14×10^{-8} [m/W]となる。ベリリウムの熱膨張係数は $12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、熱伝導率は 201 [W/m·K]なので、 α/η は 5.95×10^{-8} [m/W]となる。銀の熱膨張係数は $19 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、熱伝導率は 429 [W/m·K]なので、 α/η は 4.43×10^{-8} となる。金の熱膨張係数は $14.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、熱伝導率は 318 [W/m·K]なので、 α/η は 4.47×10^{-8} [m/W]となる。

【0066】以上のように、アルミニウム、銅、銀、ベリリウム、金などの金属を用いると、熔融石英の場合と比較して α （熱膨張係数）/ η （熱伝導率）の値を、1/3～1/9に低減することができ、従って、変形量 Δx もそれだけ小さく抑えることができる。一體的な熱膨張係数を有する金属においては、熱伝導率が熱膨張係数が 200 [W/m·K]以上のものを用いると、ミラーの変形量を 1nm 以下に抑えることができる。

【0067】

【実施例】以下、本発明に係るミラーの実施例についてさらに詳細に説明する。

【0068】（実施例1）インバーの表面に無電解メッキによりニッケル合金（Ni90wt%-P10wt%）の非晶質薄層を形成し、その表面を加工（切削、研削、研磨）して必要な表面粗さとし、さらに加工した非晶質薄層の表

(7)

特開平11-329918

11

面にX線反射多層膜を形成して、直径50mm、曲率半径500mm、中心厚さ12.5mmのX線多層膜反射ミラーを製造した。図2を参照して、その製造工程を順に説明する。

【0069】まず、インバー素材を切削加工して直径50mm、中心厚さ12mm、表面が曲率半径500mmの凹面で裏面が平面のインバー製基板21を作製した。

【0070】そして、基板表面（薄膜を形成する面）を電解研磨加工により表面粗さ10nm（rms）以下の鏡面に仕上げてから、この表面に無電解メッキ法によりニッケル合金（Ni90wt%－P10wt%）からなる非晶質薄膜22を厚さ500μmとなるように形成した。

【0071】次に、非晶質薄膜22の表面を研削および研磨して、表面粗さが0.4nm（rms）になるまで平滑にした。このようにして、インバー製基板21上にニッケル合金からなる非晶質薄膜22を形成したX線ミラー用の基板を作製した。

【0072】最後に、イオンビームスパッタリングにより、モリブデン（Mo）とシリコン（Si）からなる周期長6.7nm、積層数50層のX線反射多層膜23を基板の表面に形成してX線多層膜ミラーを完成した。

【0073】この多層膜ミラーは、裏面を冷却して一定温度に保っておけば、10[mW/cm²]の熱流束がその全面あるいは一部に入射しても、熱変形は0.1μm以下となり、波長13nmのX線を用いた回折限界の光学系を構成することができる。

【0074】そこで、図1に示す軟X線投影投影露光装置の投影系の中で最も熱負荷の大きいミラー8に、この反射ミラーを採用した。30枚/時間のスループットを得る条件では、ミラー8へ入射するX線強度は約30[mW/cm²]であった。ミラー18へ入射したX線の内30%の約9[mW/cm²]が吸収されて熱負荷となるが、熱変形は0.1μm以下となり、波長13nmのX線を用いた高スループットの軟X線投影投影露光装置用のミラーとして十分に使用可能であった。

【0075】（実施例2）インバーの表面にスパッタリングにより酸化珪素（SiO₂）の非晶質薄膜を形成し、その表面を加工（切削、研削、研磨）して必要な表面粗さとし、さらに加工した非晶質薄膜の表面にX線反射多層膜を形成して、直径50mm、曲率半径500mm、中心厚さ12mmのX線多層膜反射ミラーを製造した。図2を参照して、その製造工程を順に説明する。

【0076】まず、インバー素材を切削加工して直径50mm、中心厚さ12mm、表面が曲率半径500mmの凹面で裏面が平面のインバー製基板21を作製した。そして、基板表面（薄膜を形成する面）を電解研磨加工により表面粗さ10nm（rms）以下の鏡面に仕上げてから、この表面に高周波マグネトロンスパッタリングにより、SiO₂からなる非晶質薄膜22を厚さ5μmとなるように形成した。

【0077】次に、非晶質薄膜22の表面を研削および

12

研磨して、表面粗さが0.4nm（rms）になるまで平滑にした。このようにして、インバー製基板1上にSiO₂からなる非晶質薄膜22を形成したX線ミラー用の基板を作製した。

【0078】最後に、イオンビームスパッタリングにより、モリブデン（Mo）とシリコン（Si）からなる周期長6.7nm、積層数50層のX線反射多層膜23を基板の表面に形成してX線多層膜ミラーを完成した。

【0079】この多層膜ミラーは、裏面を冷却して一定温度に保っておけば、10[mW/cm²]の熱流束がその全面あるいは一部に入射しても、熱変形は0.1μm以下となり、波長13nmのX線を用いた回折限界の光学系を構成することができる。

【0080】そこで、図1に示す軟X線投影投影露光装置の投影系の中で最も熱負荷の大きいミラー8に、この反射ミラーを採用した。30枚/時間のスループットを得る条件では、ミラー8へ入射するX線強度は約30[mW/cm²]であった。ミラー18へ入射したX線の内30%の約9[mW/cm²]が吸収されて熱負荷となるが、熱変形は0.1μm以下となり、波長13nmのX線を用いた高スループットの軟X線投影投影露光装置用のミラーとして十分に使用可能であった。

【0081】（実施例3）インバーの表面にプラズマCVDによる炭化珪素（SiC）の非晶質薄膜を形成し、その表面を加工（切削、研削、研磨）して必要な表面粗さとし、さらに加工した非晶質薄膜の表面にX線反射多層膜を形成して、直径50mm、曲率半径500mm、中心厚さ12mmのX線多層膜反射ミラーを製造した。図2を参照して、その製造工程を順に説明する。

【0082】まず、インバー素材を切削加工して直径50mm、中心厚さ12mm、表面が曲率半径500mmの凹面で裏面が平面のインバー製基板21を作製した。そして、基板表面（薄膜を形成する面）を電解研磨加工により表面粗さ10nm（rms）以下の鏡面に仕上げてから、この表面にSiCl₄とCH₄ガスを原料に用いたプラズマCVDによりSiCからなる非晶質薄膜22を厚さ50μmとなるように形成した。

【0083】次に、非晶質薄膜22の表面を研削および研磨して、表面粗さが0.4nm（rms）になるまで平滑にした。このようにして、インバー製基板21上にSiCからなる非晶質薄膜22を形成したX線ミラー用の基板を作製した。

【0084】最後に、高周波マグネトロンスパッタリングにより、モリブデン（Mo）とシリコン（Si）からなる周期長6.7nm、積層数50層のX線反射多層膜23を基板の表面に形成してX線多層膜ミラーを完成した。

【0085】この多層膜ミラーは、裏面を冷却して一定温度に保っておけば、10[mW/cm²]の熱流束がその全面あるいは一部に入射しても、熱変形は0.1μm以下となり、波長13nmのX線を用いた回折限界の光学系を構成す

13

ることができる。

【0086】そこで、図1に示す軟X線投影投影露光装置の投影系の中で最も熱負荷の大きいミラー8に、この反射ミラーを採用した。30枚/時間のスループットを得る条件では、ミラー8へ入射するX線強度は約30 [mW/cm²]であった。ミラー8へ入射したX線の内30%の約9 [mW/cm²]が吸収されて熱負荷となるが、熱変形は0.1 nm以下となり、波長13nmのX線を用いた高スループットの軟X線投影投影露光装置用のミラーとして十分に使用可能であった。

【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明にかかる軟X線投影露光装置においては、その投影光学系に、形状誤差および表面粗さを小さくし、かつX線などの照射光による熱変形を充分小さく抑えることができるX線多層膜ミラーを用いたので、スループットを上げるために強い軟X線を照射しても、熱変形によって結像特性が劣化することがない。そのため、本発明にかかる軟X線投影露光装置は、高解像力と高スループットを両立させることができる。

(8)

特開平11-329918

14

*【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の例を示す概略図である。

【図2】本発明に係るミラーの実施の形態の例を示す図である。

【図3】ミラーを構成する基板の熱変形を説明する図である。

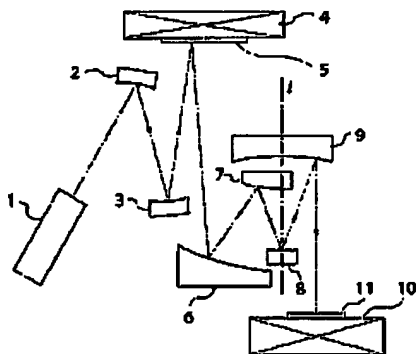
【図4】ミラーを構成する基板の表面粗さによる多層膜ミラーの反射率の差異を示す図である。

【符号の説明】

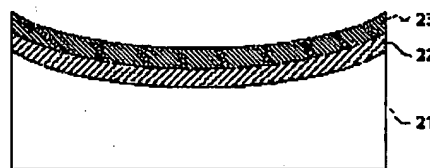
- 10 1 X線源
2, 3 X線多層膜ミラー（照明系）
4 マスクステージ
5 反射マスク
6~9 X線多層膜ミラー（投影系）
10 ウェハステージ
11 ウェハ
21 金属製基板
22 非晶質薄膜
23 X線反射多層膜

*20

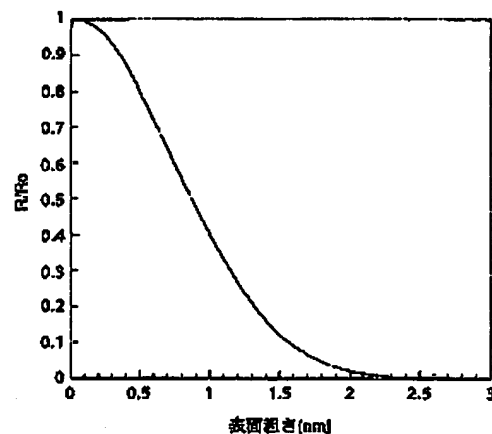
【図1】



【図2】



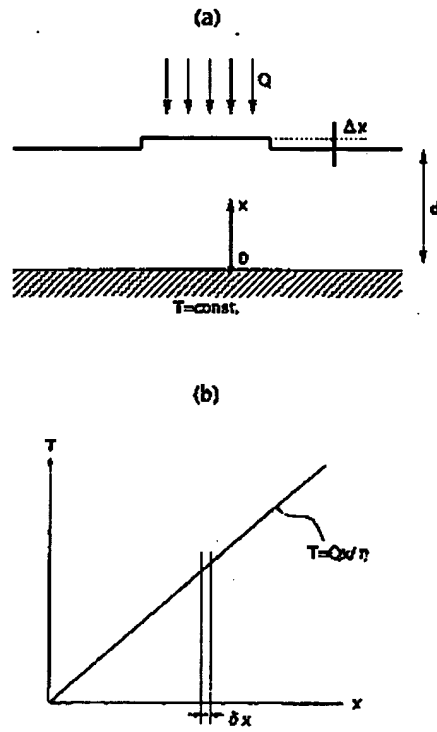
【図4】



(9)

特開平 1 1 - 3 2 9 9 1 8

【図 3】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.